

벌크선박과 유조선의 온실 가스 배출 인벤토리 분석

임남균† · 이승룡*

† 목포해양대학교 해상운송시스템학부

* 목포해양대학원 해상운송시스템

An inventory analysis on greenhouse gas emissions from bulk carrier and oil tanker

Im Namkyun[†], Sung-ryong Yi^{*}

[†] Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 503-729, Korea

^{*} Graduate School, Mokpo National Maritime University, Mokpo 503-729, Korea

요 약 : 최근 지구 환경 문제의 심각성이 대두되면서, 전과정 평가(Life Cycle Assessment)에 대한 선박 적용 연구가 조금씩 진행되고 있다. 본 논문에서는 선박 LCA 연구의 일환으로 선박 배기 가스 분석을 수행하였다. 이를 위하여 화물선에 대한 온실 배기 가스 배출 분석을 수행하였다. 대상 선박은 벌크선박과 유조선 등 2척을 모델로 삼았으며 과거 수년간의 실적 데이터를 분석하여 운항인벤토리 중 온실 배출 가스의 정략적 데이터를 분석하였다. 이 분석을 통하여 화물선 운송 시 화물 1톤을 1마일 수송하는데 배출되는 배기 가스량의 분석을 시도하였다.

핵심용어 : 전과정 평가, 환경, 인벤토리, 온실가스, 선박

Abstract : As the seriousness of the global environment is gaining our attention recently, studies on application of LCA(Life Cycle Assessment) to ship are being carried out dynamically in various industrial fields. This study was carried out to examine the application of LCA to ships and was focused on the inventory analysis on global warming gas from merchant cargo ships. Two merchant cargo ships were adopted as ship models. Actual voyage data of at last several years was used to analysis the ship's exhaust gas inventory. The analysis shows how many weight of global warming gas being exhausted to transport 1 ton of each cargo per 1 nautical mile.

Key words : LCA, Environment, Inventory Analysis, Greenhouse gas, Ship

1. 서 론

최근 지구 환경보호에 대한 관심이 증대되면서 온실가스 규제에 대한 국제적 움직임이 활발해 지고 있다. 1997년에는 교토 의정서가 탄생되어 선진국가들에게 5년 단위의 공약기간을 정해 2008년-2012년까지 36개국 선진국 전체의 배출량을 1990년 대비 5.2%까지 감축할 것을 규정하고 있다.

우리나라는 2002년 교토의정서를 비준하였고 아직 교토의정서에 따르는 법적 의무는 부담하고 있지 않으나 OECD 회원국으로서 멕시코와 더불어 온실가스 감축 압력을 받고 있다. 또한 최근 2009년에는 코펜하겐 기후협약을 통하여 선진국, 개도국간의 의견을 활발히 주고 받으며 향후 온실가스 감축 문제에 대한 실질적인 실행에 관심이 모아지고 있다. 이러한 세계적인 움직임속에서 우리나라를 포함한 각 국가는 경제 규모에 따라 온실가스를 감축하는 정책이 필요하게 되었다.

이러한 국제적인 움직임과 맞물려, ISO(국제 표준화 기구)는 환경규제에 대한 규격의 필요성을 인식하여, 국제규격으로

ISO 14000시리즈를 개발하기도 하였다. 이 속에서 환경감시, 평가, 전과정평가(Life Cycle Assessment : 이하 LCA) 등의 분과위원회를 구성하여 환경경영 시스템에 대한 국제규격을 개발하고 있다(ISO, 1997). 다양한 산업 분야 중 조선 해운 분야에서 또한 LCA 및 환경 문제에 대한 다양한 접근이 시도되고 있다(최, 2002 ;이 2005). 특히 선박 운항 중에서 온실 가스의 배출량을 추정하는 연구(임, 2008)가 선행되었으나, 실제 화물선에 대한 온실 가스 배출량에 대한 분석 시도가 이루어지지 않아 한계점을 나타내었다.

본 연구에서는 화물을 싣고 운항하는 화물 선박의 데이터를 활용하여, 실 선박의 온실 가스 배출량을 정량적으로 추정하기 위한 접근을 시도하였다. 이러한 연구는 향후 국가적 차원에서 온실가스 배출량에 대한 감축 정책이나 관련 자료의 활용에 중요한 데이터로 사용될 수 있기 때문에 중요할 것으로 판단된다. 이를 위하여 벌크선박(Bulk Carrier), 유조선(Oil Tanker) 두 선박을 모델로 설정하여 다년 간의 항해 실적 자료를 분석하였다. 분석된 자료를 활용하여, 두 선박이 화물 수송할 때 발생하는 온실 가스량을 정량적으로 분석 제시하였다.

* 대표저자 : 정희원, yisr108@yahoo.co.kr 010-5001-1640

† 교신저자 : 종신회원, namkyun.im@mmu.ac.kr 010)8802-0582

2. 적용 모델 대상

본 연구에서는 전과정평가의 화물선박에 대한 적용을 위해 LCA의 핵심적인 단계의 하나인 운항단계의 온실배기가스 인벤토리 분석을 실시하였다. 대상 선박은 국내 'S'사 소속의 광탄선과 일본 'I'사 소속 유조선을 모델로 삼았다. 선박에 대한 온실 가스 분석을 위하여서는 다양한 선종에 대한 데이터 분석이 요구된다. 화물의 종류에 따라 운항 형태가 달라지기 때문이다. 이를 위해서는 정기선 및 부정기선을 모두 포함한 데이터를 분석하여야 하지만, 데이터 확보의 어려움으로 본 연구에서는 그 기초 연구로서 우선 광탄선과 유조선을 모델로 삼았다. 분석에 사용한 기본 자료는 두 선박의 항해 실적 데이터로부터 획득하였으며 벌크선박의 경우 2002년 7월부터 2006년 1월, 유조선의 경우 2003년 1월부터 2006년 11월까지의 Abstract log book(이후 'Ab-log'이라 함)과 SHIP'S PARTICULAR, 화물 운송량, 기항지, 항로 등에 대한 정보를 사용하였다. 배출 가스 인벤토리 분석 대상인 두 선박의 주요사항은 Table 1과 같다.

Table 1 The summary of models

Items	Unit	Bulk Carrier	Oil Tanker
G/T	Ton	91,000	54,000
Full speed	Knots	12.94	13.01
Dead Weight	Tons	166,856	100,000
Engine Type	Type	HYUNDAI MAN-B&W 6L80MC	HYUNDAI MAN-B&W 6S70MC
Engine Output	kW	15000	14000
Diesel Generator	kW	720	1050
Aux. Boiler	kg/h	2100	4900
Built year	-	Feb.1982	Jan.2003

두 선박에 대한 분석 대상 기간 중 항해일수, 항해거리, 정박일수, 화물수송량 및 주요 항로는 Table 2와 같다. 벌크선박의 경우, 약 51개월간 약 25만 마일의 항해를 수행한 실적의 데이

Table 2 The summary of two ship's voyage

Items	Bulk Carrier	Oil Tanker
Survey period	July '03 ~ Nov '06 (51 months)	Jan '03 ~ Nov '06 (46 months)
Voyage dates	984.8 days	990.7 days
Voyage distance	256,390 miles	307,281 miles
Total Cargo	3,906,536 MT	4,742,835 MT
port of call	South Korea, Japan Australia	South Korea, Japan West Asia,Australia

터가 사용되었다. 주로 한국, 일본, 호주를 왕래하며 총 3,906,536 톤의 광탄석 화물을 수송하였다. 두 번째 대상 선박인 유조선은 약 46개월간 약 30만 마일을 운행하였다. 한국, 일본, 중동, 호주 등지를 항해하면서 총 4,742,835 톤을 수송하였다. 두 선박이 분석 대상 기간 동안 항해한 항로를 그림으로 표현한 것이 Fig. 1, 2와 같다.

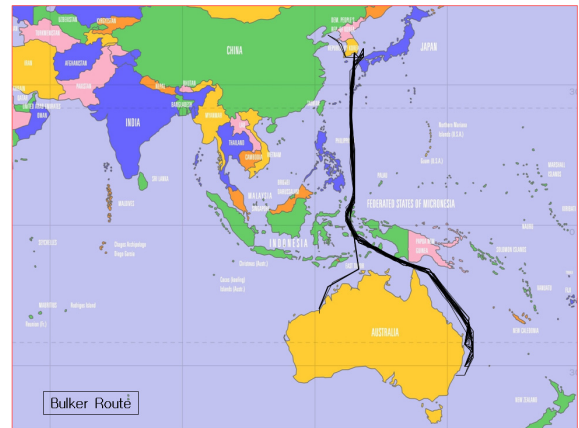


Fig. 1 The route of model bulk carrier

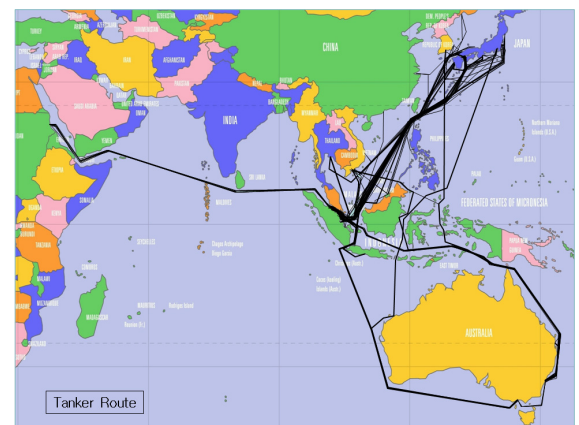


Fig. 2 The route of model oil tanker

3. 분석 설정

본 연구에서는 화물선의 운항 중에 배출되는 배기 가스량을 분석하기 위하여 두 종류의 화물선이 항해 중에 소비한 에너지를 바탕으로 배출 가스량을 추정하였다.

3.1 인벤토리 분석 대상 물질

화물선의 배기 가스 인벤토리 대상물질은 소비 연료 즉 Fuel Oil(이하 F.O.) 과 Diesel Oil(이하 D.O.) 입력항목에 대한 기관 운전 에 따른 출력항목인 대기오염물질(CO₂, Nox, Sox, CO, HC, PM, CH₄, NMVOC, N₂O)을 설정하였다. 통상 선박이 운항 중 발생하는 위해물질 중 선체 외판에 도료된 페인트 등에 의한 오염원을 제외하였고, 순수하게 소비하는 에너지와 그에 따른 배출가스를 분석대상물질로 삼았다. 연료 중 타 연료에

비하여 그 사용량이 미비한 윤활유의 경우 본 연구에서는 분석대상에서 제외하였다.

3.2 분석 방법

분석방법의 기존 연구(입, 2008) 방식을 채용하였다. 이 방식은 선박의 항해 및 정박기간 중 사용한 총 에너지를 파악하고 이를 바탕으로 배출되는 오염 배기가스량을 도출하는 방법이다. 통상 선박에서 사용하는 연료소비에 따른 가스 배출량은 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 가이드 라인(IPCC, 1996)을 따라 추정할 수 있다. Table 3은 선박에서 주로 사용되는 F.O.의 소비량에 따른 배출 가스량을 나타내고 있다. 이 도표에 의하면 해상 활동 중인 선박에서 사용하는 주기관, 보조기관 및 보일러에 따라 발생하는 유해물질을 추정할 수 있다.

Table 3 Gas inventory of F.O. consumption unit: g/kg-fuel

배출물	디젤기관		Boiler
	2 stroke (Main Engine)	4 stroke (Generator Engine)	
CO2(이산화탄소)	37×%C		
Nox(질산화합물)	87	57	6.8
Sox(황산화합물)	20×%S		
CO(일산화탄소)	7.4	7.4	0.6
HC(탄화수소)	2.4	2.4	
PM(프로메튬)	7.6	7.6	
CH4(메탄)	0.29	0.29	0.12
NMVOC(비메탄계 휘발성 유기성분)	2.1	2.1	
N2O(일산화이질소)	0.08	0.08	0.01

Data source: Intergovernmental panel on climate change guide line

선박에서 사용되는 연료는 그 종류에 따라, 탄소 및 황 함유량이 다소 차이가 있으며 이는 배출 가스량에 영향을 미친다. 따라서 본 논문의 계산에 사용한 기준은 IPCC 가이드라인에 제시된 통상의 해상 연료유에 대한 표준 탄소 및 황함유량을 인용하였다. Table 4는 해상에서 사용되는 F.O.와 D.O.에 포함된 탄소 및 황 함유량을 보여준다.

Table 4 The content rate of carbon & sulfur in F.O & D.O

Type	Carbon(%)	Sulfur(%)
F.O.	84.4	3
D.O.	87.5	0.3

또한 선박이 D.O.를 소비하는 동안 발생하는 오염물질의 양은 F.O.와 D.O.의 발열량의 비를 이용한 연구(木原,2004)를 인용하였다. F.O.의 발열량은 9,600kcal/kg이고 D.O.의 발열량은

10,200kcal/kg이므로 D.O.의 발열량은 F.O.의 약 1.06배이므로, 이를 이용하여 배출 유해가스를 계산하였다. 이렇게 얻은 결과는 Table 5와 같다.

Table 5 Gas inventory from D.O. consumption unit: g/kg-fuel

배출물	디젤기관		Boiler
	2 stroke (Main Engine)	4 stroke (Generator Engine)	
CO2(이산화탄소)	39.22×%C		
Nox(질산화합물)	92.22	60.42	7.208
Sox(황산화합물)	21.2×%S		
CO(일산화탄소)	7.844	7.844	0.636
HC(탄화수소)	2.544	2.544	
PM(프로메튬)	8.056	8.056	
CH4(메탄)	0.3074	0.3074	0.1272
NMVOC(비메탄계 휘발성 유기성분)	2.226	2.226	
N2O(일산화이질소)	0.0848	0.0848	0.0106

4. 분석 결과

본 연구에서는 두 화물선이 화물 운송을 하는데 있어서, 화물 1톤을 1마일 운송하는데 소요된 배출 가스량을 분석하였다. 이러한 방식은 화물선의 고유 업무인 화물운송 업무에서 얼마의 선박 배기 가스가 방출되는지 알 수 있는 자료로 활용될 수 있다. 또한 운송 구역 예를 들면 연안, 원양 그리고 운송되는 화물의 종류 즉 건화물, 일반화물, 유류 등으로 구분하여 화물 1톤을 1마일 운송하는데 방출되는 배기 가스량을 구분 비교하는데 유용하게 사용될 수 있는 장점이 있다.

4.1 벌크선박

2002년 7월부터 2006년 1월까지 총 51개월 동안의 벌크선박의 Ab-log를 분석한 결과 Table 6과 같은 총 소비 에너지에 대한 데이터를 얻었다. 도표에서 보이듯 항해 및 정박 중 기관 별로 사용한 에너지의 양 및 종류를 알 수 있다.

Table 6 Energy consumption of bulk carrier unit: ton

	F.O.	D.O.	Cargo Amount(MT)
Main Engine	34,764.5	214	3,906,536
Generator Engine	47.9	2,985.9	
Aux Boiler	78.0	8.1	
At berth	153.5	1468.9	
Total	35,043.9	4676.9	

총 소비 에너지를 바탕으로 총 배출 오염물질을 나타낸 것

이 Table 7 및 Fig. 3,4 이다. 배출 오염물질 중 단연 많은 부분을 차지하는 것은 이산화탄소이다. 이 양은 F.O.에서 109,000톤이 발생하였고, D.O.에서 16,000톤이 발생하여 약 6.8배의 차이를 보였다. 또한 각 기관별 발생 분포를 보면 주기관에서 총 발생 이산화탄소의 87%를 발생시켰으며, 발전기에서 12%, 보조 보일러에서 0.4%의 비율로 각각 발생시킨 것으로 나타났다.

Table 7 Gas inventory of bulk carrier unit:MT

	F.O.	D.O.	SUM
CO2[ton]	109000.00	16000.00	125000.00
Nox	3030.79	290.90	3321.69
N2O	2.79	0.40	3.19
CxHy	2418.03	29.75	2447.77
Sox	258.13	36.56	294.69
CO	83.68	11.85	95.54
HC	265.00	37.54	302.54
PM	10.13	1.43	11.57
CH4	73.22	10.37	83.60
NMVOc	726	388	1115

이 결과를 이용하여 화물 1톤을 1마일 운송하는데 발생하는 대기오염 물질(g/ton-mile)을 표시한 것이 Table 8이다. 계산 방법으로는 첫 항차부터 마지막 항차까지 발생한 대기 오염물질 총량을 총 항해 거리의 합과 화물량의 항차별 곱으로 나누어 구하였다. 화물 1톤을 1마일 운송 시 발생하는 대기오염물질량을 구하는 공식은 식 (1)과 같다.

Table 8 Exhaust gas inventory of bulk carrier unit: g/ton-mile

Gas Items	Exhaust Amount	Gas Items	Exhaust Amount
CO2	3.6	CO	0.01
NOx	0.1	HC	0.003
N2O	0.0009	PM	0.009
Sox	0.07	CH4	0.0003
NMVOc	0.005		

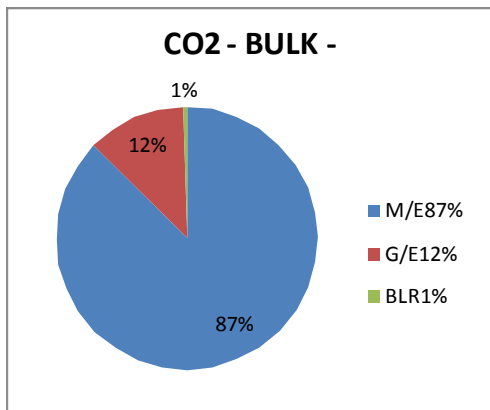


Fig. 3 Gas inventory in bulk carrier

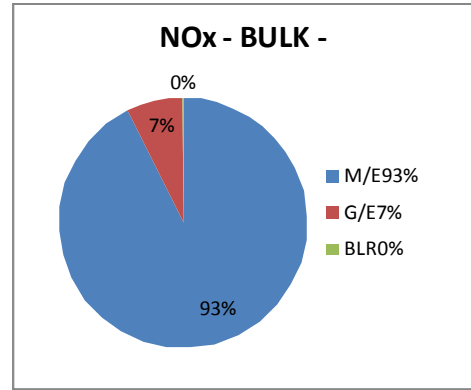


Fig. 4 Gas inventory in bulk carrier

$$TM_y = \frac{\sum Q_i}{\sum (dis_i \times cargo_i)} \quad (1)$$

TM_y : 화물 1ton을 1 mile 수송 시 발생하는 배기 가스량

Q_i : 항차(i번째) 에서 발생한 배기가스 량 [grams]

dis_i : 항차(i번째) 항해 총 마일 [miles]

$cargo_i$: 항차(i번째)에서 수송한 총 화물량 [tons]

Table 9에서 나타난 바와 같이 벌크선박의 경우, 화물 1톤을 1마일 해상 수송하는데 평균적으로 3.6(g)의 이산화탄소, 0.1(g)의 Nox를 배출한 것으로 계산되었다.

5.2 유조선

벌크선과 동일한 방법으로 유조선의 분석을 실시하였다. 대상 기간인 2003년 1월부터 2006년 11월까지 총 46개월 동안의 데이터를 분석하였다. 이 기간 동안 사용한 총 에너지량은 Table 9와 같이 나타났다. F.O.의 경우 51,382.9 톤, D.O.는 161.5 톤을 소비한 것으로 조사되었다.

Table 9 Energy consumption of oil tanker unit: ton

	F.O.	D.O.	Cargo Amount(MT)
Main Engine	42,673.6	1.5	4,742,835
Generator Engine	2,660.9	62.6	
Aux Boiler	1,298.9	0	
At berth	4749.5	97.4	
Total	51,382.9	161.5	

사용된 총 에너지량을 바탕으로 배출 오염가스의 총량을 계산하였다. 그 결과는 Table 10과 같다. 이산화탄소의 경우 총 배출량이 161,012 톤에 달하고 있다. 또한 각 기관별 배기 가스 배출 비율을 나타낸 것이 Fig. 5와 Fig. 6과 같다. CO2의 발생량의 83%는 주기관에서 발생하였으며 발전기와 보조 보일러에서 각 8%씩 발생한 것으로 분석되었다. 단 이 결과는 선박 건조 년수에 따른 오염량 변화를 고려하지 않고 IPCC에서 제시한 일반적인 선박의 평균값을 이용한 점을 감안하여야 한다.

Table 10 Gas omitting inventory of oil tanker unit:MT

	F.O.	D.O,	SUM
CO2[ton]	160458.38	554.06	161012.44
Nox	4004.76	9.65	4014.41
N2O	3.81	0.01	3.82
Sox	3082.97	1.03	3084.00
CO	350.99	1.24	352.23
HC	113.00	0.40	113.40
PM	357.83	1.27	359.10
CH4	14.17	0.05	14.22
NMVOC	98.87	0.35	99.23

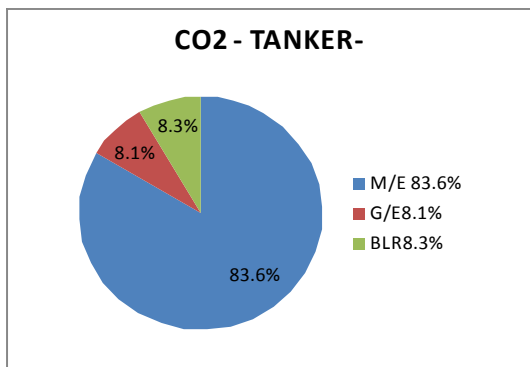


Fig. 5 Gas inventory in oil tanker

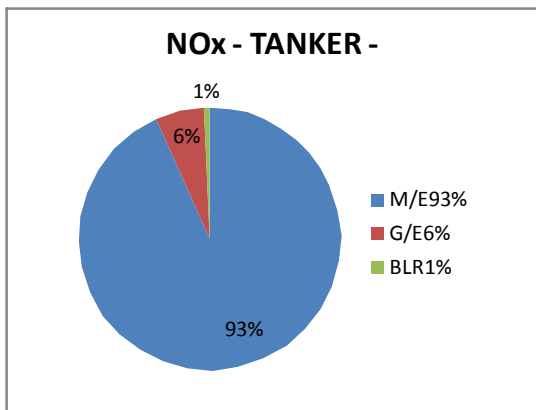


Fig. 6 Gas inventory in oil tanker

Table 11 Exhaust gas inventory of oil tanker unit: g/ton-mile

Gas Items	Exhaust Amount	Gas Items	Exhaust Amount
CO2	5.2	CO	0.01
NOx	0.13	HC	0.004
N2O	0.0009	PM	0.01
Sox	0.1	CH4	0.0004
NMVOC	0.03		

이상의 결과를 이용하여 화물 1톤을 1마일 운송하는데 발생하는 대기오염 물질(g/ton-mile)을 Table 11에 나타내었다. 유조선의 경우, 화물 1톤을 1마일 해상 수송하는데 평균적으로 5.2(g)의 이산화탄소, 0.13(g)의 Nox를 배출한 것으로 계산되었다.

5.3 두 선박의 데이터 비교 검토

지금까지 두 선박이 화물 1톤을 1마일 수송할 때 발생시키는 배기 가스량을 분석하였다. 벌크선박과 유조선을 비교하여 보면 화물 1톤을 1마일 운송하는데 발생하는 대기오염물질 양은 유조선에서 5.2(g/ton-mile)을 발생하였고 벌크선박에서는 3.6(g/ton-mile)을 발생하였다. 유조선이 벌크선박보다 약 1.5배 정도 많은 것으로 나타났다. Fig.7에서 두 선박 종류에 따른 총 이산화탄소 배출량 및 기관별 배출량을 나타내고 있다. 이와 같은 현상의 원인은 벌크선박이 유조선에 비하여 화물 수송량 및 항해 마일은 약 83% 정도임에 반하여 에너지 소비량은 약 77%정도로, 고효율 수송의 구조를 갖고 있는 것으로 판단된다. 또한 모델 벌크선박의 경우 모델 유조선에 비하여 선박 총 톤수가 166% 크기 때문에 수송효율이 높은 것도 한 원인으로 생각된다. 단, 이 결과는 벌크선박과 유조선의 일반화된 경향을 나타내는 자료로 사용되기에는 한계가 있는 특정 사례의 조건임을 감안하여야 한다.

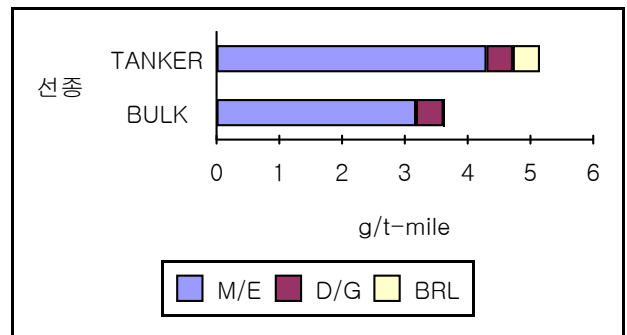


Fig. 7 The exhausted CO2(g/t-mile) Gas according to the type of ships and machineries

6. 결론

본 연구를 요약하면 아래와 같다.

첫째, 선박 운항중 온실가스 인벤토리 추정을 위하여, 두 종류의 화물선인 벌크선박, 유조선을 모델로 삼아 선박 운항 시 발생하는 배기 가스량을 정량적으로 분석 시도하였다.

둘째, 3년 10개월(33,258hours)간의 유조선 항해자료를 분석한 결과 F.O.의 사용량은 51,382.9 톤이었고 D.O.는 각각 161.5 톤이었다. 또한 운송한 화물의 총량은 4,742,384.7 톤으로 분석되었다.

셋째, 벌크선박의 경우, 4년 3개월(36,737hours)동안 항해한 자료를 이용 분석한 결과 F.O. 총 사용량은 35,043.9 톤이었고

D.O.는 4,676.9 톤이었으며 운송한 화물의 총량은 각각 3,906,536 톤이었다.

넷째, 두 선박을 비교한 결과, 한국 및 호주를 주로 항해하며 광탄석을 수송하는 90,000G/T 급 벌크선박의 경우, 3.6 (g/t-mile)의 이산화탄소를 배출하는 것으로 나타났다. 또한 한국, 일본, 동남아시아, 호주를 주 항로로 삼고 있는 54,000G/T의 유조선의 경우 5.2(g/t-mile)의 이산화탄소를 배출하는 것으로 분석되었다.

다섯째, 두 선박의 이산화탄소 배출량의 차이는 총톤수 차이 및 운반 화물 대비 연료 소비량에 따른 화물 수송 효율에 기인한 것으로 추정된다. 단, 두 선박이 규모가 각각 5만톤급, 9만톤급으로 상이하여 동일한 조건하에서 비교할 수 없는 데이터임을 감안하여야 한다.

본 연구에서 분석한 데이터 결과 값은 선박의 크기, 항로, 운반 화물 등의 영향에 따라 다소 변경이 가능할 것으로 예상된다. 하지만, 본 연구에서 설정한 항로, 선박크기, 운반화물 등의 경우라면 대략 그 정도의 배기가스를 배출하고 있다는 것을 의미한다. 따라서 향후 다양한 항로, 다양한 선종, 크기에 따라 운항실적에 따른 데이터를 분석하면 보다 체계적이고 일반화된 선박 운항에 따른 온실가스 인벤토리 설계가 가능할 것이다. 이런 점에서 향후 컨테이너 선 및 부정기 운항선박의 데이터 분석이 요구된다.

이러한 데이터는 해운 산업의 총 배기물질 규제 정책에 수립에 귀중한 자료로 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 다양한 선종, 운항 조건에 따른 폭넓은 운항 데이터 수집, 분석이 요구된다. 다양한 선종, 규모, 항해구역에 따른 일반화된 배기가스 배출량의 D/B가 개발되면 해운산업 전반의 배기물질에 대한 전반적인 데이터 획득이 가능하므로, 이를 바탕으로 에너지 총규제 정책에 참조 자료로 활용될 수 있기 때문이다.

아울러 본 연구의 계산식에서 데이터는 IPCC가 제시하고 있는 일반적인 선박의 값을 사용하였으므로, 선박의 연령, 당시 엔진부하 등에 따른 영향을 면밀히 고려하지 못한 한계성이 존재한다. 따라서 실선 운항 중 배기 가스량을 장기간 실측하여 축적한다면 보다 정확한 선박 배기가스량 추정이 가능할 것으로 판단된다. 이는 또 하나의 향후 연구과제의 하나이다.

후 기

이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-331-D00699). 또한 본 논문에 사용된 선박데이터는 송민섭, 이지원, 정광희, 오성욱, 이현구, 최효 학생의 졸업논문의 일환으로 확보된 자료이며 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고 문헌

[1] 이종갑 (2005), “선박 LCA 동향 및 사례”, 선박 설계 전문

가 과정(친환경청정선), 아진출판사, pp305-328

[2] 임남균, 조호진 (2008), “선박 전과정평가를 위한 실습선 배기가스 인벤토리 분석”, 한국항해항만학회지, 제32권, 제1호 pp29-35

[3] 장미숙, 김은찬, 문일성, 이재우 (2006), “선박의 CO2 배출량에 대한 기본 운항 인자의 영향”, 선박해양기술, 제41권 pp19-26

[4] 최길선(2002), “현대중공업 환경보고서”, 현대중공업

[5] ISO(1997), “Environmental Management Systems”. ISO 14001,

[6] ISO(1997), “Environmental management-Life cycle assessment - Life cycle interpretation”, ISO 14043

[7] REVISED 1996 IPCC GUIDE LINE FOR NATIONAL GREENHOUSE GAS INVENTORIES, IPCC-NGGIP PUBLICATION

[8] 木原 (2004), “선박 LCA에 대한 조사 연구”, 해상기술안전연구보고서 제 2권, 제2호

원고접수일 : 2009년 12월 11일
 심사완료일 : 2010년 3월 25일
 원고채택일 : 2010년 3월 25일